

PATENT ABSTRACTS OF JAPAN

(11)Publication number : 2002-118540

(43)Date of publication of application : 19.04.2002

(51)Int.Cl.

H04L 1/00
H04B 10/00
H04L 1/22
H04L 29/02
H04L 29/08

(21)Application number : 2001-231014

(71)Applicant : ALCATEL

(22)Date of filing : 31.07.2001

(72)Inventor : ATT SAB OMAR
DESBRUSLAIS STEPHEN
RAYMOND

(30)Priority

Priority number : 2000 200019386 Priority date : 07.08.2000 Priority country : GB

(54) OPTICAL TRANSMISSION FOR ERROR CONTROL DATA

(57)Abstract:

PROBLEM TO BE SOLVED: To provide an optical data transmitting method capable of transmitting digital information data and associated error control data through an optical transmission line without making it necessary to increase the transmission bit rate of the information data.

SOLUTION: Channel encoded data are transmitted by using wavelength division multiplexing(WDM), so that one subset of the WDM channel of an optical transmission line can be used for the transmission of data including information data ('information channel') but excluding any error data, and that another separate sub-set can be used for the transmission of error control data ('error channel') related with the information data (for example, check bits, bytes, or symbols or the like in the case of an RS code).

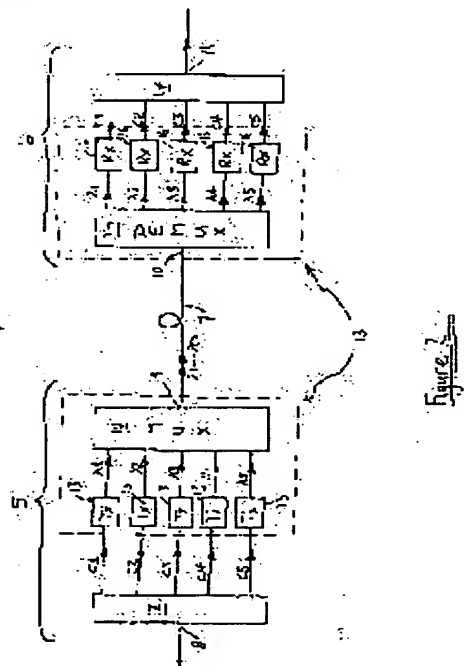


Figure 2

LEGAL STATUS

[Date of request for examination]

[Date of sending the examiner's decision of rejection]

[Kind of final disposal of application other than the examiner's decision of rejection or application converted registration]

[Date of final disposal for application]

[Patent number]

[Date of registration]

[Number of appeal against examiner's decision
of rejection]

[Date of requesting appeal against examiner's
decision of rejection]

[Date of extinction of right]

Copyright (C); 1998,2003 Japan Patent Office

(19) 日本国特許庁 (J P)

(12) 公開特許公報 (A)

(11) 特許出願公開番号

特開2002-118540

(P2002-118540A)

(43) 公開日 平成14年4月19日 (2002.4.19)

(51) Int.Cl.	識別記号	F I	テ-マ-ト* (参考)
H 0 4 L	1/00	H 0 4 L 1/00	F 5 K 0 0 2
H 0 4 B	10/00	1/22	5 K 0 1 4
H 0 4 L	1/22	13/00	3 0 1 B 5 K 0 3 4
	29/02	H 0 4 B 9/00	B
	29/08	H 0 4 L 13/00	3 0 7 D

審査請求 未請求 請求項の数35 O L 外国語出願 (全 46 頁)

(21) 出願番号 特願2001-231014(P2001-231014)

(22) 出願日 平成13年7月31日 (2001.7.31)

(31) 優先権主張番号 0 0 1 9 3 8 6 . 2

(32) 優先日 平成12年8月7日 (2000.8.7)

(33) 優先権主張国 イギリス (GB)

(71) 出願人 391030332

アルカテル

フランス国、75008 パリ、リュ・ラ・ボ

エテイ 54

(72) 発明者 オマール・エ・サブ

フランス国、91650・ブレイエ、ルート・

ダルバジヨン・11、レ・ドユ・クロアバ

ルトマン・11

(74) 代理人 100062007

弁理士 川口 義雄 (外1名)

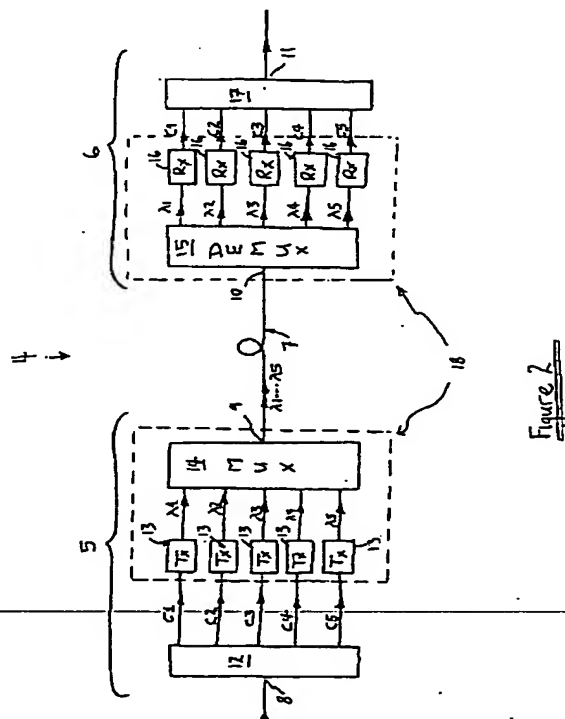
最終頁に続く

(54) 【発明の名称】 誤り制御データの光伝送

(57) 【要約】

【課題】 本発明は、デジタル情報データおよび関連する誤り制御データを、情報データの伝送ビット率の増加を必要とせずに、光伝送回線を介して伝送することができる光データ伝送方法である。

【解決手段】 波長分割多重化 (WDM) を使用して、チャンネル符号化データを伝送することにより、光伝送回線の WDM チャンネルの 1 つのサブセットが、情報データ (「情報チャンネル」) を含み、誤りデータを含まないデータの伝送のために使用され、他の分離したサブセットが、(例えば RS コードの場合の例えば、チェックビット、バイト、または、記号などの) 前述の情報データに関連する誤り制御データ (「誤りチャンネル」) の伝送のために使用される方法を提供する。



【特許請求の範囲】

【請求項1】 第1のタイプのデータと第2のタイプのデータとを含むデジタルデータを光伝送回線を介して伝送する方法であって、第2のタイプは、少なくとも第1のタイプの対応するデータの誤りの制御に関連するデータであり、第1のタイプのデータが、第2のタイプのデータが伝送されるチャネルとは異なるチャネルを介して伝送されるように、複数の波長分割多重光伝送チャネルを使用してデジタルデータが伝送される、デジタルデータを光伝送回線を介して伝送する方法。

【請求項2】 前記第1のタイプのデータが、対応する前記第2のタイプのデータと実質的に同期させて伝送される請求項1に記載の方法。

【請求項3】 データが、前記第1のタイプのデータと前記第2のタイプのデータが互いに対応すると識別することができる整合データに関連して伝送される請求項1に記載の方法。

【請求項4】 第2のタイプのデータが、第1のタイプのデータの順方向誤り訂正(FEC)符号化を介して導出される請求項1から3のいずれかに記載の方法。

【請求項5】 第2のデータブロックの与えられた1つが、第1のデータブロックの対応する与えられた1つにおける誤りの制御に関連するデータを含むように、第1のタイプのデータが第1のデータブロックに区分けされ、第2のタイプのデータが第2のデータブロックに区分けされる請求項1から4のいずれかに記載の方法。

【請求項6】 対応する第1のデータブロックおよび第2のデータブロックが、実質的に同期して伝送される請求項5に記載の方法。

【請求項7】 対応する第1のデータブロックおよび第2のデータブロックが、前記第1と第2のデータブロックが互いに対応すると識別することができる整合データに関連して伝送される請求項5に記載の方法。

【請求項8】 第2のデータブロックの各々が、第1のデータブロックの対応する1つから、前記第1のデータブロックの1つの順方向誤り訂正符号化により導出される請求項5、6、または、7のいずれかに記載の方法。

【請求項9】 受信される第2のタイプのデータが、受信されるデータにおける誤りの検出または訂正に使用される請求項1に記載の光伝送回線を介して伝送されるデジタルデータ伝送を受信する方法。

【請求項10】 前記第1のデータタイプのデータが、対応する前記第2の前記データタイプのデータと実質的に同期して受信される請求項9に記載のデジタルデータ伝送を受信する方法。

【請求項11】 前記第1のデータタイプと第2のデータタイプの両方の受信されるデータが整合データを含み、前記整合データを用いて、受信される前記第1のデータタイプのデータと受信される前記第2のデータタイプのデータが互いに対応すると識別することができる請

求項9に記載のデジタルデータ伝送を受信する方法。

【請求項12】 受信されるデータが、第1のデータタイプの第1のデータブロックおよび第2のデータタイプの第2のデータブロックからなり、複数の第2のデータブロックが、第1のデータブロックの対応する1つにおける誤りの検出または訂正に関連する請求項9、10、または、11のいずれかに記載のデジタルデータ伝送を受信する方法。

【請求項13】 与えられた第1のデータブロックが、対応する前記第2のデータブロックと実質的に同期して受信される請求項12に記載のデジタルデータ伝送を受信する方法。

【請求項14】 受信されるデータが、第1および第2のデータブロックを含み、各ブロックは関連する整合データを有しており、整合データが、受信される第1および第2のデータブロックのいずれが対応するブロックであるかの識別に使用される請求項12に記載のデジタルデータ伝送を受信する方法。

【請求項15】 受信されるデータが、第1のデータタイプの第1のデータブロックおよび第2のデータタイプの第2のデータブロックからなり、第2のデータブロックの各々が、第1のデータブロックの対応する1つにおける誤りの検出または訂正に関連する請求項9に記載のデジタルデータ伝送を受信する方法。

【請求項16】 第1のタイプのデータと第2のタイプのデータとを含むデジタルデータを光伝送回線を介して伝送するための装置であって、第2のタイプのデータは、少なくとも第1のタイプの対応するデータにおける誤りの制御に関連し、

第1のタイプのデータを受信する入力手段と、前記第2のデータタイプのデータを、前記第1のデータタイプから導出するための符号化手段と、分離したデータチャネルを介して、前記第1および第2のデータタイプを出力するための出力手段を含むデータ符号化器と、異なる波長分割多重光伝送チャネルを介して、前記第1のタイプのデータおよび前記第2のタイプの対応するデータを伝送するための光伝送手段を含む、デジタルデータを光伝送回線を介して伝送するための装置。

【請求項17】 データ符号化器が、前記第1のタイプのデータおよび前記第2のタイプの対応するデータを、実質的に同期させて出力するために動作可能である請求項16に記載の装置。

【請求項18】 データ符号化器が、前記第1のタイプのデータおよび前記第2のタイプの対応するデータが互いに対応すると識別することができる整合データに関連して、前記第1のデータタイプおよび前記第2のデータタイプの各々を出力するために動作可能である請求項16および17のいずれかに記載の装置。

【請求項19】 前記第2のデータタイプが、前記第1のタイプのデータの順方向誤り訂正(FEC)符号化を

介して前記データ符号化器によって導出される請求項16から18のいずれかに記載の装置。

【請求項20】 第2のデータブロックの与えられた1つが、第1のデータブロックの対応する与えられた1つにおける誤りの制御に関連するデータを含むように、前記データ符号化器が、前記第1のタイプのデータを第1のデータブロックに区分けするために、および、前記第2のタイプの対応するデータを第2のデータブロックに区分けするために動作可能である請求項16から19のいずれかに記載の装置。

【請求項21】 前記符号化器が、対応する第1のデータブロックおよび第2のデータブロックを、実質的に同期させて出力するために動作可能である請求項20記載の装置。

【請求項22】 前記符号化器が、対応する第1のデータブロックと第2のデータブロックを、前記第1および第2のデータブロックが互いに対応すると識別することができる整合データに関連して出力するために動作可能である請求項20に記載の装置。

【請求項23】 前記符号化手段が、第2のデータブロックの各々1つを、第1のデータブロックの対応する1つから、前記第1のデータブロックの1つの順方向誤り訂正符号化により導出するために動作可能である請求項20、21、または、22のいずれかに記載の装置。

【請求項24】 第1のタイプのデータと第2のタイプのデータとを含むデジタルデータを光伝送回線を介して受信するための装置であって、第2のタイプのデータは、少なくとも前記第1のタイプの対応するデータにおける誤りの制御に関連するデータであり、第1のデータタイプの光データ信号および第2のデータタイプの光データ信号を、異なる波長分割多重光伝送チャネルを介して受信するための受信手段を含む光学式受信機と、

前記第1のタイプのデータおよび前記第2のタイプのデータを、前記受信手段から受信するための入力手段を含むデータ復号器を含み、

データ復号器が、第1のタイプの受信されるデータおよび第2のタイプの対応するデータが互いに対応すると識別される手段を含む、デジタルデータを光伝送回線を介して受信するための装置。

【請求項25】 データ復号器が、第2のタイプの受信されるデータを、受信データにおける誤りの検出または訂正に使用するための手段をさらに含む請求項24に記載の装置。

【請求項26】 前記データ復号器が、前記第1のデータタイプのデータを、前記第1のデータが対応する前記第2のデータタイプのデータと実質的に同期させて受信するために動作可能である請求項24および25のいずれかに記載の装置。

【請求項27】 第1のデータタイプおよび第2のデー

タタイプの両方の受信されるデータが、整合データを含み、整合データを用いて、前記第1のデータタイプの受信データと前記第2のデータタイプの受信データが互いに対応していると識別することができ、前記データ復号器が、前記整合データを使用して、第1のデータタイプのデータおよび第2のデータタイプのデータが互いに対応すると識別するために動作可能である請求項24から26のいずれかに記載の装置。

【請求項28】 データ復号器が、第1のデータタイプの第1のデータブロックおよび第2のデータタイプの第2のデータブロックを含むデータを受信するために動作可能であり、第2のデータブロックの複数が、第1のデータブロックの対応する1つにおける誤りの検出または訂正に関連する請求項24から27のいずれかに記載の装置。

【請求項29】 前記データ復号器が、与えられた第1のデータブロックを、与えられた第1のデータブロックが対応する前記第2のデータブロックと実質的に同期させて受信するために動作可能である請求項28に記載の装置。

【請求項30】 受信されるデータが第1および第2のデータブロックを含み、各ブロックが関連する整合データを有し、データ復号器が、受信される第1および第2のデータブロックのどちらが対応するブロックであるかの識別に前記整合データを使用するために動作可能である請求項28に記載の装置。

【請求項31】 受信されるデータが、第1のデータタイプの第1のデータブロックおよび第2のデータタイプの第2のデータブロックからなり、第2のデータブロックの各々が、第1のデータブロックの対応する1つにおける誤りの検出および訂正に関連し、前記データ復号器が、前記第2のデータブロックの与えられた1つを、前記与えられた1つの第2のデータブロックが対応する第1のデータブロックにおける誤りを検出または訂正するために使用するために動作可能である請求項24から30のいずれかに記載の装置。

【請求項32】 添付の図面を参照しながら以下の実施形態のいずれかにおいて実質的に説明する、デジタルデータを光伝送回線を介して受信するための装置。

【請求項33】 添付の図面を参照しながら以下の実施形態のいずれかにおいて実質的に説明する、デジタルデータを光伝送回線を介して伝送するための装置。

【請求項34】 添付の図面を参照しながら以下の実施形態のいずれかにおいて実質的に説明する、光伝送回線を介してデジタルデータを伝送する方法。

【請求項35】 添付の図面を参照しながら以下の実施形態のいずれかにおいて実質的に説明する、光伝送回線を介してデジタルデータを受信する方法。

【発明の詳細な説明】

【0001】

【発明の属する技術分野】本発明は、誤り制御デジタルデータの伝送の、特に、波長分割多重化を使用し、光伝送回線を介した、このデータの伝送の方法および装置に関する。

【0002】

【従来の技術】光伝送回線に伝送されるデジタルデータ信号の波形は、典型的に、波形が伝搬するに従って信号の劣化を被る。伝送回線の材料の光学的欠陥または異常は、しばしば、信号波形のランダムな変動をもたらす

(例えば、光の散乱または吸収がもたらす強度の変動)、このため、信号にランダムノイズが含まれる。加えて、例えば、信号雑音のさらなる源である中継の間に、それぞれが、光の波形を漸進的に形状変化させる散乱、または、自己位相変調により、伝送回線の材料の光学的特性は、より体系的な信号の劣化を誘発することもある。

【0003】デジタルデータの光伝送において、このような信号雑音は、しばしば、「ビット誤り」を招き、これにより、本来「1」ビットとして伝送されるデータビットが、「0」ビットとして受信されるか、または、この逆となる。受信される信号において、このような誤りが発生する率(ビット誤り率、BER)は、受信機の入力における信号雑音比(SNR)に敏感に依存する。信号のBERを削減する1つの方法は、受信機におけるSNRを増大させようとして、信号送信機の出力を増大させることである。もちろん、この方法は、望ましくない、または、達成が不可能なこともある送信機出力の増大を必要とする。

【0004】ビット誤りを削減するために、単に信号のSNRを増大させることに代わる技術は、現行のビット誤りを克服することを狙う「チャネル符号化」の技術である。例えば、このような符号化技術は、「ブロック符号化」の技術であり、これにより、デジタル信号の伝送に先だって、データストリームは、ブロックに区分けされる。続いて、「チェックビット」として知られる追加のデータビットが、各データブロックに追加される。これらのチェックビットは、データブロックの特性に関係する情報を搬送し、これを用いて、それらは関連付けられる(例えば、データブロックの2進の「1」ビットの数に関係付ける)。これらのデータブロックの受信機は、与えられた受信されたブロックにある複数のビット誤りを検出または訂正するために、各ブロックのチェックビットを後に解析/復号しなければならない。使用されるブロック符号化が、誤り検出のみを可能とする場合、受信機は、データブロックにあるビット誤りの位置を見つける(および、したがって、訂正する)ことができない。このような状況において、データが、原型が損なわれている、および、受容不能であれば、受信機は、例えば、問題のデータブロックの再伝送について、送信機に対して要求を提出する。この例は、当技術分野で

知られている自動反復要求(ARQ)技術である。

【0005】しかし、このような再伝送は、データの継続的な流れを妨害し、伝送回線の通信量を増加させる。この欠点は、当技術分野において、例えば、十分なチェックビットが、伝送の前に、受信機のビット誤りの訂正を容易にするために、データブロックに導入される誤り訂正ブロック符号化によって克服されている。このタイプのブロック符号化は、順方向誤り訂正(FEC)符号化の例である。光伝送回線の性能は、特にFECの利用により、大幅に改善されている。これはビット誤り率を改善し、これにより、伝送出力(および、SNR)を増大することに頼らずに、伝送回線増幅器の間隔を増大することが可能となる。

【0006】当技術分野において、多くのブロック符号化アルゴリズムが知られており、様々な程度の複雑さを有している。しかし、これらのアルゴリズムが典型的に動作する一般的な原理は、冗長の原理である。デジタルデータのストリームが伝送される場合を考える。このデータストリームは、情報データとよばれるものを含んでいる。このデータをブロック符号化するために、先ず、ブロックに区分けされなければならない、このような各ブロックは、いくつかのチェックビットが与えられる。図1は、この例を描く。ここで、符号化されたデータブロック(「コードワード」)は、全体で n ビットで構成され、このうち、 k ビットのみが情報データであり、残りの $(n-k)$ ビットがチェックビットである。 $(n-k)$ 個のチェックビットは、本来の(すなわち、符号化されていない)データブロックに関連するいかなる情報も搬送しないという点で、冗長である。これらのチェックビットは、それらが追加される k 個のデータビットのビット誤り処理においてのみ使用される。このようなブロックコードは、記号「 (n, k) 」により識別される。

【0007】ビット誤り訂正の図式的例として、以下の(7, 4)のブロックコードの例を考える。情報データビットストリームは、 $[D1, D2, D3, D4]$ の $k=4$ のデータビットのブロックに区分けされ、これに、 $[C1, C2, C3]$ の $(n-k)=3$ のチェックビットが添付され、したがって、長さ $n=7$ のコードワード $[D1, D2, D3, D4, C1, C2, C3]$ を生成する。このチェックビットは、以下の関係に従う情報データビットから導出される。

【0008】

$$C1 = D1 + D2 + D3$$

$$C2 = D1 + D2 + D4 \quad (1)$$

$$C3 = D1 + D3 + D4$$

ここで、加算記号(+)は、モジュロ2加算(排他的論理和)のことである。したがって、これらの7個のビットで構成されるコードワードは、例えば、1つのコードワードブロックとして、または、インタリービング法も

しくは当技術分野で知られている他の任意の適した方法を介してのいずれかで、その後伝送される。このコードワードを受信すると、等式(1)により定義されるデータビット D_i ($i=1, 2, 3$) およびチェックビット C_i ($i=1, 2, 3$) との関係は、以下のよう

に、7つのビットのいずれにおける単一の誤りを調べ、および、位置を見つけるために、復号器により使用される。

【0009】この関係に注意すると、モジュロ2加算は、

$$C_i + C_i = 0; i=1, 2, 3 \quad (2)$$

となり、以下のように書ける。

【0010】

$$\begin{aligned} C_1 + D_1 + D_2 + D_3 &= 0 \\ C_2 + D_1 + D_2 + D_4 &= 0 \\ C_3 + D_1 + D_3 + D_4 &= 0 \end{aligned} \quad (3)$$

3つの等式(3)の左側を計算することにより、復号器は、7つのコードワードビットのいずれにおける単一の誤りを、検出し、位置を見つけ(および、したがって、訂正する)、または、2つのビット誤りを検出する

(が、位置は見つせず、訂正もしない)ことが可能となる。これは、すなわち、受信されたコードワードに単一のビット誤りが存在すれば(例えば、ビットが「1」から「0」に変わった、または、その逆)、復号器により決定された時、3つの等式(3)の複数の右側は、ゼロではなくなる。ゼロでない結果は、受信されるコードワードに、ビット誤りが存在する場合にのみ、発生することがある。

【0011】

【発明が解決しようとする課題】考えられる誤り訂正の程度は、与えられたコードワードにおいて伝送される冗長ビットの数に従って深まる。しかし、コードワードの一部のみが情報データを含むため、固定されたビット伝送率に対して増加する冗長は、データ(情報)伝送率の減少を必然的に意味する。代わりに、一定した情報データ伝送率を維持するためには、チェックビットの伝送に対応するために、全体的なビット伝送率を増加させること、したがって、伝送チャンネルの必要な帯域幅の容量の増加を要求することが、典型的に必要となる。

【0012】例えば、連鎖リード-ソロモン(RS)

(225, 239) + (255, 223) コードなどのFECブロックコードを使用している時、ビット率は、一定した情報データ伝送率を維持するために、典型的に、23%増加させられなければならない。したがって、FECコードの使用がもたらすゲインは、ビット率の増加から発生する不利益によって、部分的に相殺される。このような不利益は、帯域幅の増加、ジッタ、および、光ファイバの非線形性を含む。加えて、構成要素の周波数定格は、さらに厳正である。これらのような不利益は、増加したビット率でデータ(情報データとチェッ

クビット)を伝送している時、例えば、ビット時間枠を減少させることを通じて発生する。このような減少の結果は、ビット信号自体の振幅の対応する増加である。信号の振幅の増大は、信号を、非線形光領域の方へさらに押しやり、これにより、例えば、相互位相変調(XPM)、自己位相変調(SPM)、チャンネル間干渉などの望ましくない非線形効果が増大する。

【0013】本発明の目的は、従来技術の欠点の少なくともいくつかを克服することである。

【0014】

【課題を解決するための手段】本発明の第1の態様によれば、第1のタイプのデータと第2のタイプのデータとを含むデジタルデータを光伝送回線を介して伝送する方法であって、第2のタイプは、少なくとも第1のタイプの対応するデータの誤りの制御に関連するデータであり、第1のタイプのデータが第2のタイプのデータが伝送されるチャンネルとは異なるチャンネルを介して伝送されるように、複数の波長分割多重光伝送チャンネルを使用してデジタルデータが伝送される、デジタルデータを光伝送回線を介して伝送する方法が提供される。

【0015】「波長分割多重チャンネル」については、

「波長分割多重化」(WDM)を使用する光データ伝送というよく知られた技術を参照しながら理解される。WDMは、いくつかの光信号を単一の光ファイバに多重化することにより、光ファイバ伝送回線にデータを伝送することが可能となる大きな帯域幅を利用する。各光信号は、「チャンネル」として知られる異なる狭いレーザ波長帯域により、搬送(すなわち、変調)される。このチャンネルは、典型的に、波長で数ナノメートルごとに分離さ(「間隔を空けら」)れているが、これよりかなり小さい個々の帯域幅を有する。「密集WDM」(DWDM)および「高密度WDM」(HDWDM)システムにおいて、チャンネルの間隔は、通常WDMシステムにおける間隔より小さい。本発明は、そのようなWDMシステムまたは技術(すなわち、WDM、DWDM、HDWDM、および、それらに準ずるもの)のいずれにも適用できることが理解される。

【0016】したがって、本発明の第1の態様によれば、本発明は、デジタル情報データおよびその関連する誤り制御データが、情報データの伝送ビット率の増加を要求することなく、光伝送回線を介して、伝送される光データ伝送方法を提供することが理解される。これは、本発明によれば、同じWDM伝送チャンネルを介して、情報データおよびその関連する誤り制御データを一緒に伝送する必要性を回避することにより達成できることが明かである。すなわち、複数のWDM伝送チャンネルのサブセットが、第1のタイプのデータの伝送に使用されるが、第2のタイプのデータの伝送に、同時には使用されないということである。第2のタイプのデータは、複数の他のWDM伝送チャンネルの異なるサブセットを介して

伝送される。

【0017】このようにして、本発明は、ビット誤り制御に関連する冗長ビットに対応するために、光伝送チャネルのビット率を増加することに関連する前述の不利益を軽減することを目的とする。特に、波長分割多重(WDM)を使用するチャネル符号化されたデータを伝送することにより、本発明は、光伝送回線のWDMチャネルの1つのサブセットが、情報データ(「情報チャネル」)を含むが、誤りデータを排除するデータの伝送に使用され、もう1つの分離したサブセットが、前述の情報データ(例えば、RSコードの場合の例えば、チェックビット、バイト、または、記号)に関連する誤り制御データ(「誤りチャネル」)の伝送に使用される方法を提供する。

【0018】WDMチャネルの間隔は、誤り制御データの伝送に専用の追加のWDMチャネルに対応するために、比例して小さくできるので、本発明によれば、伝送方式のスペクトル効率は、典型的に、影響されない。これは、チャネルのビット率を高める必要のないおかげで可能となる。例えば、64チャネルWDM伝送システムは、25%のオーバーヘッドを組み込んだ時(すなわち、符号化率は0.8)、全体的な伝送帯域幅を増加させることなく、(より緊密に間隔が詰められ)80のWDMチャネルを含むように変更される。

【0019】前記第1のタイプのデータは、前記第1のタイプのデータが対応する前記第2のタイプのデータと、実質的に同期させて伝送されるのが好ましい。第1および第2のタイプのデータは、整合データに関連して伝送され、この整合データを用いて、前記第1のタイプのデータおよび前記第2のタイプのデータは、互いに対応することが識別されるのがさらに好ましい。

【0020】前記第2のタイプのデータは、前記第1のタイプのデータを符号化する順方向誤り訂正(FEC)を介して、導出されるのが好ましい。このような符号は、本発明によれば、誤り訂正、並びに、または、その代わりに、誤り検出のみに使用されることが理解される。誤り訂正符号化が使用されるのが好ましい。さらに、FECの技術分野で知られるように、第2のタイプのデータは、これが部分を形成する完全なコードワード内のビット誤りの検出または訂正に使用される(すなわち、第2のタイプのデータは、それ自体の誤りの制御に使用されるということである)。

【0021】第2のデータブロックの与えられた1つが、第1のデータブロックの対応する与えられた1つにおける誤りの制御に関連するデータを含むように、第1のタイプのデータは第1のデータブロックに区分けされ、第2のタイプのデータは第2のデータブロックに区分けされるのが好ましい。したがって、本発明には、ブロック符号化が使用されるのが好ましい。対応する第1のデータブロックおよび第2のデータブロックは、実質

的に同期させて伝送される。

【0022】さらに、対応する第1のデータブロックおよび第2のデータブロックが、整合データに関連して伝送され、この整合データを用いて、前記第1および第2のデータブロックは互いに対応すると識別されるのが好ましい。

【0023】第2のデータブロックの各々は、第1のデータブロックの前記の1つの順方向誤り訂正符号化により、第1のデータブロックの対応する1つから導出されることが好ましい。

【0024】したがって、誤り制御データの各ブロックは、FEC符号化技術において知られるように、情報データの対応するブロックが、誤り制御データの各ブロック(誤り制御データの各ブロックと情報データの対応するブロックの両方)の誤りの制御に関連するデータを含むように、情報データの対応するブロックから導出されることが理解される。

【0025】さらに、ひとたび導出された(例えば、誤りビットもしくはバイトの)第2のデータブロックは、伝送の前に、対応する第1のデータブロックに、その後、加えられる必要はない。すなわち、従来の場合のように、すべてのコードワードが本発明に従って伝送される必要がないため、完全な「コードワード」データ項目は、伝送の前に、作成される必要がないのが好ましい。もちろん、このような従来のコードワード作成は使用でき、コードワードの構成要素である誤り制御および情報データブロックは、その後、伝送の前に分離される。

(両方のタイプの)データブロックは、(連鎖した、または、他の)リード-ソロモンコードなどの知られたブロック符号化アルゴリズムを介して、導出される。

【0026】前記第1のデータブロックの各々は、これが対応する前記第2のデータブロックと実質的に同期させて伝送されるのが好ましい。例えば、与えられた第2のデータブロックは、これが対応する与えられた第1のデータブロックを伝送するために必要な時間枠内で実質的に伝送することができる。

【0027】各データブロックは整合データに関連して伝送され、この整合データを用いて、与えられた前記第1のデータブロックおよび与えられた前記第2のデータブロックは、互いに対応すると識別されることができると好ましい。すなわち、整合データを、情報データブロックおよび誤り制御データブロックとともに伝送することにより、光データ信号のそれらのブロックがひとたび受信機に受信されれば、どの誤り制御データブロックが、どの情報ブロックに対応するかを、識別することが可能となる。これは、WDM誤りチャネルとそれらの対応するWDM情報チャネルとの間の同期化に対する必要性を回避し、その利点は、以下に討論される。

【0028】本発明の第2の態様によれば、第2のタイプの受信されるデータが、受信データにおける誤りを検

出および／または訂正するために使用される、本発明の第1の態様によって光伝送回線を介して伝送されるデジタルデータ伝送を受信する方法が提供される。したがって、ひとたび受信されれば、(すべてのタイプの)データブロックは、知られているFEC技術に従って、訂正することができる。

【0029】本発明の第2の態様によれば、前記第1のデータタイプのデータは、これが対応する前記第2の前記のデータタイプのデータと実質的に同期させて受信されるのが好ましく、第1のデータタイプと第2のデータタイプの両方の受信されるデータは整合データを含み、この整合データを用いて、前記第1のデータタイプの受信データおよび前記第2のデータタイプの受信データは、互いに対応すると識別できるのがさらに好ましい。

【0030】本発明の第2の態様により受信されるデータは、複数の第2のデータブロックが、第1のデータブロックの対応する1つにおける誤りの検出または訂正に関連する、第1のデータタイプの第1のデータブロックおよび第2のデータタイプの第2のデータブロックを含むのが好ましい。第2のデータブロックは、第1のデータブロックの対応する1つにおける誤りの訂正に関連するのが好ましい。第1のデータブロックの各々は、これが対応する前記第2のデータブロックと実質的に同期させて受信されるのが好ましい。

【0031】したがって、復号化／誤り訂正は、同期させて受信される情報データブロックと誤り訂正データブロックを組み合わせることにより進行できる。例えば、(情報チャネルの)情報データブロックを完全に受信するために必要な時間枠内で、(誤りチャネルに)受信される与えられた誤り制御ブロックは、その後の誤り訂正復号化のために、情報データブロックと組み合わせることができる。

【0032】受信データは、第1および第2のデータブロックを含み、各ブロックは、関連する整合データを有し、この整合データは、受信される第1および第2のデータブロックのどれが対応するブロックかの識別に使用されるのが好ましい。したがって、整合データは、受信機が、同期化に頼ることなしに、その後の誤り訂正復号化のために、受信される情報データブロックとそれらの対応する誤り訂正データブロックを組み合わせることを可能にする。

【0033】本発明の第3の態様によれば、第1のタイプのデータと第2のタイプのデータとを含むデジタルデータを光伝送回線を介して伝送するための装置であって、第2のタイプのデータが少なくとも第1のタイプの対応するデータにおける誤りの制御に関連し、第1のタイプのデータを受信する入力手段と、前記第2のデータタイプのデータを、前記第1のデータタイプから導出するための符号化手段と、分離したデータチャネルを介して、前記第1および第2のデータタイプを出力するため

の出力手段を含むデータ符号化器と、異なる波長分割多重光伝送チャネルを介して、前記第1のタイプのデータおよび前記第2のタイプの対応するデータを伝送するための光伝送手段を含む、デジタルデータを光伝送回線を介して伝送するための装置が提供される。

【0034】本発明の第3の態様によるデータ符号化器は、前記第1のタイプのデータを、第2のタイプの対応するデータとを、実質的に同期させて出力するために動作可能であることが好ましい。データ符号化器は、第1のデータタイプの各々と対応する第2のデータタイプを、整合データに関連して出力するために動作可能であり、この整合データを用いて、第1タイプのデータと第2のタイプの対応するデータが互いに対応すると識別できるのがさらに好ましい。

【0035】この第2のデータタイプは、第1のタイプのデータの順方向誤り訂正(FEC)を介して、このデータ符号化器により導出されるのが好ましい。

【0036】データ符号化器は、第2のデータブロックの与えられた1つが、第1のデータブロックの対応する与えられた1つにおける誤りの制御に関連するデータを含むように、第1のタイプのデータを第1のデータブロックに区分けするために、および、第2のタイプの対応するデータを第2のデータブロックに区分けするために動作可能であることが好ましい。符号化器は、対応する第1のデータブロックと第2のデータブロックを実質的に同期させて出力するために動作可能であることが好ましい。

【0037】符号化器は、対応する第1のデータブロックと第2のデータブロックを、前記第1および第2のデータブロックが互いに対応すると識別することができる整合データに関連して出力するために動作可能であることが好ましい。この符号化手段は、第2のデータブロックの各々を、前記第1のデータブロックの1つの順方向誤り訂正符号化により、第1のデータブロックの対応する1つから導出するために動作可能であることが好ましい。

【0038】本発明の第4の態様によれば、第1のタイプのデータと第2のタイプのデータとを含むデジタルデータを光伝送回線を介して受信するための装置であって、第2のタイプのデータが少なくとも第1のタイプの対応するデータにおける誤りの制御に関連するデータであり、第1のデータタイプの光データ信号および第2のデータタイプの光データ信号を、異なる波長分割多重光伝送チャネルを介して受信するための受信手段を含む光学的受信機と、前記第1のタイプのデータおよび前記第2のタイプのデータを、前記受信手段から受信するための入力手段を含むデータ復号器を含み、データ復号器が、第1のタイプの受信されるデータおよび第2のタイプの対応するデータが互いに対応すると識別される手段を含む装置が提供される。

【0039】本発明の第4の態様によるデータ復号器は、第2のタイプの受信データを、受信データにおける誤りの検出または訂正に使用するための手段をさらに含むのが好ましい。さらに、データ復号器は、前記第1のデータタイプのデータを、これが対応する前記第2のデータタイプのデータと、実質的に同期させて受信するために動作可能であることが好ましい。

【0040】第1のデータタイプおよび第2のデータタイプの受信データは、整合データを含み、この整合データを用いて、前記第1のデータタイプの受信データおよび前記第2のデータタイプの受信データが互いに対応すると識別でき、前記データ復号器が、前記整合データを使用して、第1のデータタイプのデータおよび第2のデータタイプのデータが互いに対応すると識別するために動作可能であることがさらに好ましい。

【0041】データ復号器は、第1のデータタイプのデータブロックおよび第2のデータタイプの第2のデータブロックを含むデータを受信するために動作可能であり、第2のデータブロックの複数が、第1のデータブロックの対応する1つにおける誤りの検出または訂正に関連するのが好ましい。データ復号器は、与えられた第1のデータブロックを、これが対応する前記第2のデータブロックと実質的に同期させて受信するために動作可能であることが好ましい。

【0042】この受信データは、第1および第2のデータブロックを含み、各ブロックは、関連する整合データを有し、データ復号器は、前記整合データを、受信された第1および第2のデータブロックのどれが対応するブロックであるかの識別に、使用するために動作可能であることが好ましい。

【0043】受信されたデータは、第1のデータタイプの第1のデータブロックおよび第2のデータタイプの第2のデータブロックを含み、第2データブロックの各々は、第1データブロックの対応する1つにおける誤りの検出または訂正に関連し、前記データ復号器は、前記第2のデータブロックの与えられた1つを、前記第2のデータブロックの与えられた1つが対応する第1のデータブロックにおける誤りを検出または訂正するために使用するために動作可能であることがさらに好ましい。

【0044】

【発明の実施の形態】本発明の非制限的实施形態が続き、添付の図面を参照しながら討論される。図2は、本発明による、波長分割多重を使用する光ファイバ通信システムを描く。このシステムは、情報データを、その後のFEC符号化のために入力することができるデータ入力端子8、および、出力することができる出力端子9を有するデータ送信機5を含む。光ファイバ伝送回線7は、一端において、データ出力端子9に接続され、他の一端において、データ受信機6のデータ入力端子10に接続される。この受信機は、受信データが復号化の後に

出力することができるデータ出力端子11を有する。

【0045】図2には描かないが、光伝送回線7は、(エルビウムが注入された光増幅器などの)増幅器および/または中継器をさらに含むこともできる。

【0046】送信機5の入力8は、それぞれがさらに、(Txと示される)各々の光チャネル送信機13の入力端子にさらに接続される、(C1、...、C5と示される)順に5つのチャネル出力端子を有するデータ符号化器12の入力に接続される。この光チャネル送信機13は、(λ_1 、...、 λ_5 と示される)その出力において、波長分割多重化器14の各々の入力にそれぞれ接続され、この多重化器14の出力は、送信機出力9において、光ファイバ7に接続される。

【0047】受信機6は、入力が受信機入力10において光ファイバ7に接続される多重分離器15を含む。多重分離器15は、各々が、(Rxと示される)各光チャネル受信機16の入力端子に接続される、(λ_1 、...、 λ_5 と示される)5つのチャネル出力端子を有する。各Rx16の出力端子は、復号器17の(C1、...、C5と示される)各チャネル入力に接続される。この復号器の出力端子は、受信機6の出力端子に11において接続される。

【0048】したがって、本発明の本実施形態によれば、光チャネル送信機13、多重化器14、光ファイバ7、多重分離器15、および、光チャネル受信機16は、知られる構造の波長分割多重(WDM)通信システム18を構成するように配置されることが理解される。これに代わる、知られるWDM構造および方法も、本発明の範囲から逸脱することなく、システム18に使用できることが理解される。

【0049】使用において、伝送する情報データは、送信機5に、したがって、入力端子8を介して、符号化器12に入力される。このデータを受信すると、符号化器12は、例えば、リード・ソロモン(RS)タイプのコードなどのFECブロック符号化アルゴリズムによって、データを符号化することにより、進めて行くのが好ましい。したがって、受信された情報データは、与えられた長さのデータのブロックに区分けされ、このような情報データブロックの各々について、対応する誤り制御データブロックが作成される。ブロック符号化に続いて、情報データブロックおよび対応する誤り制御データブロックが、符号化器12の5つのチャネル出力(C1、...、C5)の分離された1つずつを介して、符号化器12から、好ましくは同期されて、出力される。例えば、すべての誤り制御データブロックは、チャネル出力C1を介して出力され、一方、すべての対応する情報データブロックは、チャネル出力C2を介してC5に出力される。

【0050】図3は、好ましく同期したデータブロック出力の簡単な図式的ダイアグラムを描く。それぞれがk

ビットの長さの情報データブロック31、32、33、および、34は、各出力チャンネルC2、C3、C4、および、C5に、時間枠Tにわたって、符号化器12から出力される。同じ継続時間T内に、それぞれ $(n-k)$ ビットの長さの4つの対応する誤り制御データブロックE1、E2、E3、および、E4は、所定のシーケンスで、誤りチャンネルC1に多重化（出力）される。この誤りブロックE1からE4は、図3に示すシーケンス以外のシーケンスでも多重化される。

【0051】この例において、符号化率 R ($R=k/n$)は、0.8に等しく、したがって、4つの誤りブロックE1からE4が、いかなる1つの対応する情報データブロックの継続時間に等しい継続時間のシーケンス30内に適合することを可能にする。もちろん、より高い符号化率も可能である。

【0052】図3は簡単な例のみを描き、当業者に明らかであるように、チャンネル同期化の他の知られる技術も、本発明の範囲から逸脱することなく使用できることが注意すべきである。

【0053】当業者に明らかであるように、同期化は、伝送の前に、本発明のあらゆる態様に従って、符号化器以外の構成要素により達成される。

【0054】与えられた各チャンネルのブロックデータ出力は、その後、WDMシステム18の各々の光送信機13に入力される。ここで、受信されるブロックデータ信号は、電気信号から対応する光信号に変換される。この変換は、もちろん、当技術分野において既に知られる、いかなる適する知られた電気/光変換方法（例えば、固体レーザの直接変調）により達成することができる。

【0055】誤り制御データブロックは、次に、例えば、光伝送チャンネル1を介して、好ましくは、光伝送チャンネル2から5の対応する情報データブロックと実質的に同期して伝送される。知られるWDM伝送技術によれば、5つの光チャンネルは、多重化器14により多重化され、光ファイバ7により受信機6の多重分離器15に伝送される。多重分離器では、この5つのチャンネルが分離され、それぞれの光受信機16に入力される。ここで、受信されるブロックデータ信号は、光の形から、対応する電気信号に変換される。この変換は、もちろん、当技術分野において既に知られる、いかなる適する知られた電気/光変換方法（例えば、アバランシェフォトダイオードの利用）により達成することができる。これらの電気信号は、チャンネル入力C1からC5を介して、復号器17に入力され、C1は、（上記のように）誤り制御ブロックを搬送し、C2からC5は、情報データブロックを搬送し、誤り制御ブロックは搬送しない。

【0056】情報データブロックと対応する誤り制御データブロックとの間の同期が、それらのブロックが復号器17に入力される時に、実質的に、まだ存在していると、以下のように、本発明の本実施形態によれば、誤り

訂正を進めることができる。

【0057】図3に描くデータブロック30から34を考える。入力チャンネルC1からC5の各々で復号器17に入力される、データブロックは、復号器において、同期して受信されるのが好ましい。誤りチャンネルC1の4ブロックシーケンス30にある各誤りブロックは、復号器12において構成される所定のシーケンス順に従ってシーケンス30を、単に、読み出すことにより、対応する情報データブロックと組み合わせられる。ひとたび、ブロックが組み合わせられれば、復号化は、知られたFEC技術に従って進めることができる。次に、誤りが訂正された情報データブロックは、送信機5に入力された本来の情報データの誤りを訂正された受信されたバージョンを表すデータストリームに組み立てることができる。

【0058】しかし、各光伝送チャンネルが、それに伝送される光信号が、例えば、三次散乱などによる異なる規模の遅れを被る原因となることがあるため、情報データブロックと誤り制御データブロックの到着時間の間の同期は、誤り制御および情報データブロックが整合しなくなるため、受信機/復号器段階において、維持することが困難または不可能になる。

【0059】本発明の他の実施形態において、この困難は、各誤りチャンネルおよび情報チャンネルの各データブロックに関連して、整合データ（例えば、ワード）を伝送することにより、本発明のいかなる態様に従っても克服できる。この整合ワードは、1つの情報データブロックと1つの誤りブロックが互いに関連している（すなわち、情報/誤りブロックの組み合わせを構成する）と識別するためであり、このようなブロックを実質的に同期させて受信する必要性は回避することができる。

【0060】これらの整合ワードは、各情報/誤りブロックの組に独特になるよう選択することができ、これにより、与えられた組の両方の要素が、同期して、または、同期せずに受信される時に、復号器17により、このように識別されることが可能であることが好ましい。すなわち、例えば、各1つの情報データブロックには、その情報ブロックに対して、関連する誤りブロックによってのみ、共有される整合ワードを割り当てることができ、これにより、情報データブロックを、誤りブロックにのみ関連すると独特に（復号器により）識別されることが可能にする。

【0061】この整合ワードは、1つの情報/誤りブロックの組に独特である必要はないことに注意する。すなわち、与えられた伝送チャンネルの（長さは、例えば、使用される符号化方式によって変化する）連続したブロックは、同じ整合ワードを有する。これらのワードは、与えられた誤りブロックを、その関連する情報ブロックと整合するために、復号器により使用することができる。但し、これらの2つのブロック間の最大不整合が、組の

最長ブロックのブロック長（例えば、情報ブロック）より小さいことを条件とする。この条件が満足されるなら、情報データブロックを受信すると、次に、復号器は、対応する情報データブロックの受信を完全にするために必要な時間枠内で、関連する不整合誤りブロックの受信を開始する（または、その逆）。この時間枠内に受信されるいかなるそのような誤りブロックも、その情報ブロックと組み合わせられていると見なされる。

【0062】使用される整合ワードが、各ブロックの組に独特であってもなくても、誤り（または、情報）チャンネルに使用される整合ワードが、（ワードが追加されている）ブロックを、誤り（または、情報）チャンネルから出現する、したがって、誤り（または、情報）ブロックであると識別する「チャンネルタイプ」識別子をさらに含むのが好ましい。これは、復号器17が、受信した誤りブロックを誤りブロックとして識別することを可能にし、復号器が、誤りブロックを情報データブロックとして（または、その逆）、誤読する可能性を克服する。

【0063】図4は、整合データワードが、伝送の前に、データブロックの前部に単に追加される、この例を描く。データシーケンス41および42は、誤りチャンネルC1の（それぞれ $(n2-k2)$ と $(n1-k1)$ の規模の）連続した誤り制御データブロックを表す。整合ワードAおよびBは、これらのブロックの前部にそれぞれ追加される。（それぞれ $k2$ および $k1$ の規模の）対応する情報データブロック41'および42'は、情報チャンネルC2にあり、同様に、これらに追加される対応する整合ワードA'およびB'を有する（追加の情報チャンネルC3他は図示しない）。整合ワードAおよびBは、誤りブロック41および42を、情報ブロック41'および42'に対応すると識別するだけでなく、ブロック41および42を、誤り制御ブロックとして（および、したがって、情報ブロックとしてではなく）識別する。

【0064】したがって、復号器17において、情報ブロック41'は、整合ワードAおよびA'を使用して、誤りブロック41に対応すると識別でき、結果的に、その後の復号化のために組み合わせることができる。整合ワードAは、同様に、復号器17に、ブロック41が誤りブロックとして読み取られるべきことを伝える。同様に、ブロック42'および42は、整合ワードBおよびB'を使用して組み合わせることができる。

【0065】（チャンネル当りの）情報データの与えられたビット率が維持される場合、伝送チャンネルの整合データの追加が、全体的なチャンネルビット率の増加を必要としても、必要となるこの増加（すなわち、オーバーヘッド分）は、典型的に、非常に小さく、従来行なわれているような情報チャンネルに誤り制御データを収容するために必要な増加よりはるかに小さい。

【0066】復号器17において受信されるデータプロ

ックにあるいかなる不整合も、可変長バッファ保存を使用して、必要なら単一のビット時間枠内に、除去できるのが好ましい。例えば、データブロックの組の対応する他のブロックが受信されるまで、復号器17は、バッファ記憶にあるデータブロックの組のいかなる1つのブロックも保存する。その後、ブロックの組は復号される。

【0067】ひとたび、整合ワードが、与えられた情報／誤りブロックの組について、検出されると、それぞれのブロック内に含まれるビットは、復号器17内の適切なレジスタに並列にロードする（例えば、当技術分野で知られているRSレジスタ、または、これに準ずるもの）。情報および誤りデータブロックの両方のすべてのビットが、復号器のレジスタにロードされた時、復号化が開始できる。例えば、情報ビットのロードが、対応する誤りビットのロードの前に完了する場合（または、その逆）、その後受信される（別のブロックの）情報ビットは、前記対応する誤りビットのロードが完了するまで、バッファに保持される（または、その逆）。

【0068】さらに、本発明の態様にもよれば、情報チャンネルと誤りチャンネルのデータブロックの間の相対的な伝送時間の遅れは、誤りチャンネルを、中央値（または、その付近）の伝送遅れを有するチャンネルに選択することにより最小化できる。すなわち、各1つのWDMチャンネルが、（チャンネル間の波長の差により）他のWDMチャンネルの伝送遅れとは異なる伝送遅れを有することはよく知られる。（使用されるWDMチャンネルのすべての）遅れの中央値に最も近い遅れを有するWDMチャンネル（または、チャンネル）を介して、誤りブロックを伝送することにより、誤りチャンネルとそれらの関連する情報データチャンネルとの間の（すべてのチャンネルにわたって考えられる）相対的な伝送遅れは、最小化できる。したがって、相対的なチャンネル遅れのこのような最小化において、結果的に、復号器17で受信される誤りと情報ブロックとの間の不整合を最小化できる。

【0069】本発明のいかなる態様にもよる本発明のさらなる実施形態として、光伝送回線に予備のWDM光伝送チャンネルを設けることができる。したがって、伝送チャンネルのいずれの1つが故障しても、予備のチャンネルをその後使用できる。これは、誤りチャンネルにも適用する。しかし、本発明の長所は、本発明により使用される誤り訂正符号化技術が伝送される情報データを修正しないことが好ましいため、WDMチャンネルが故障し、そのチャンネルが誤りチャンネルであっても、情報データの伝送が妨害されないことである。

【0070】さらに、分離された複数の伝送チャンネルを介して、誤り制御データを伝送することにより、伝送回線の与えられたチャンネルに存在する、いかなる持続的な雑音源（例えば、誤りバースト）は、そのチャンネルの性能に深刻な影響を及ぼす可能性が低くなる。これは、例えば、与えられた情報チャンネルの誤りバーストが、伝送

回線の誤りチャンネルに存在する可能性がないために起こる。情報データブロックと誤り制御ブロックの両方が、典型的に、FECコードによって訂正されるため、これは、典型的に、コードの誤り訂正能力が、いかなる1つのチャンネルの誤りバーストに対しても、より強固になる（すなわち、破られる可能性が低い）という結果をもたらす。

【0071】図2に描かれる装置が、本発明による光送信機および受信機の考えられる構造の単なる例であると意図することに注意すべきである。例えば、物理的に分離して符号化器／復号器が出力／入力チャンネルを有するより（例えば、分離した出力伝送回線）、符号化器／復号器は、（例えば、分離した多重チャンネルまたはそれに準じるものを介して）1つの伝送回線に、他の方法のように「分離」された出力チャンネルにではなく、誤りおよび情報データを出力／入力することができる。このような場合、その後の信号多重分離／多重化は、電気－光変換およびWDM送信／受信の前／後に必要となる。

【0072】上述の実施形態は、本発明のいかなる態様にもよる本発明の例としてのみ意図される。これらの実施形態には、本発明の範囲を逸脱することなく、当業者に知られる改変および修正を行なえることが理解される。

【図面の簡単な説明】

【図1】知られるブロック符号化技術に従って導出され

るコードワードの例を図式的に描く図である。

【図2】波長分割多重化を使用する光ファイバ通信システムを図式的に描く図である。

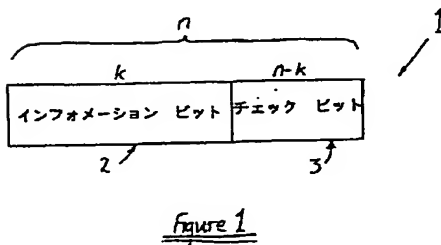
【図3】WDM情報および誤りチャンネル、および、それらの関連する整合データ項目の各々の分離された対応する情報および誤り制御データブロックを、図式的に描く図である。

【図4】どの整合データワードが、伝送の前に、データブロックの前部に単に添付されるかの例を描く図である。

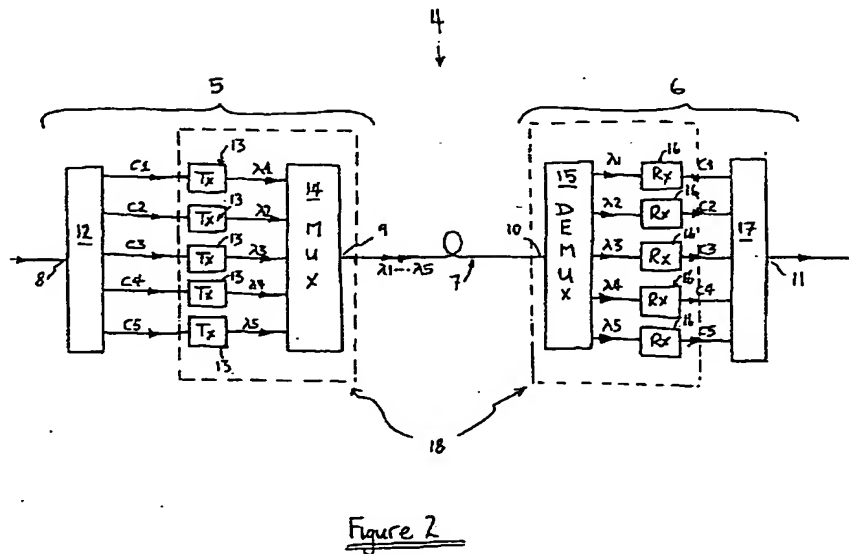
【符号の説明】

- 5 データ送信機
- 6 データ受信機
- 7 光ファイバ伝送回線
- 8、10 入力端子
- 9、11 出力端子
- 12 データ符号化器
- 13 光チャンネル送信機
- 14 波長分割多重化器
- 15 多重分離器
- 16 出力端子
- 18 通信システム
- 30 シークエンス
- 41、42 データシークエンス

【図1】



【図2】



【図3】

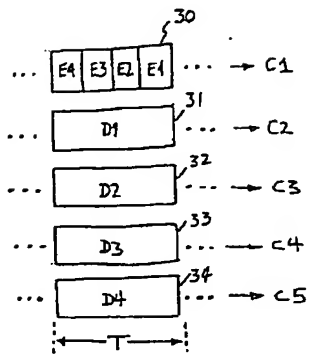


Figure 3

【図4】

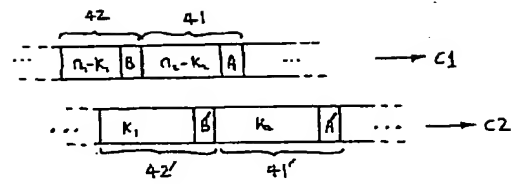


Figure 4

フロントページの続き

(72)発明者 スティーブン・レイモンド・デスブルス
 ース
 イギリス国、ロンドン・エス・イー・9・
 3・ビー・デイ、エイバライ・ヒル・ロー
 ド・16

Fターム(参考) 5K002 AA01 AA03 AA05 BA05 CA01
 DA02 DA05 FA01
 5K014 BA05 CA06 DA06
 5K034 AA01 DD01 EE02 EE07 EE08
 HH01 HH02 HH05 HH09 HH12
 JJ11 MM01

【外国語明細書】

1. Title of Invention

Optical transmission of error control data

2. Claims

1. A method of transmitting, via an optical transmission line, digital data which includes data of a first type and data of a second type, the second type being data associated with control of errors in corresponding data of the first type at least, wherein;

the digital data is transmitted using a plurality of wavelength division multiplexed optical transmission channels such that data of the first type is transmitted via a channel different to that via which data of the second type is transmitted.

2. A method according to claim 1 wherein, data of said first type is transmitted substantially synchronously with data of said second type to which it corresponds.

3. A method according to claim 1 wherein, data is transmitted in association with alignment data with which data of said first data type and data of said second type may be identified as corresponding to each other.

4. A method according to any preceding claim wherein, data of the second type is derived via forward error correction (FEC) coding of data of the first type.

5. A method according to any preceding claim wherein, data of the first type is segmented into first data blocks and data of the second type is segmented into second data blocks such that a given one of the second data blocks contains data which is associated with the control of errors in a corresponding given one of the first data blocks.

6. A method according to claim 5 wherein corresponding first data blocks and second data blocks are transmitted substantially synchronously.

7. A method according to claim 5 wherein corresponding first data blocks and second data blocks are transmitted in association with alignment data with which said first and second data blocks may be identified as corresponding to each other.

8. A method according to any of claims 5, 6 or 7 wherein, each one of the second data blocks is derived from a corresponding one of the first data blocks by forward error correction coding of said one of the first data blocks.

9. A method of receiving a digital data transmission transmitted via an optical transmission line according to claim 1, wherein the received data of the second type is used in detecting or correcting errors in the received data.

10. A method of receiving a digital data transmission according to claim 9 wherein, data of said first data type is received substantially synchronously with the data of said second said data type to which it corresponds.

11. A method of receiving a digital data transmission according to claim 9 wherein, the received data of both the first data type and the second data type includes alignment data, with which received data of said first data type and received data of said second data type may be identified as corresponding to each other.

12. A method of receiving a digital data transmission

according to any of claim 9, 10 or 11 wherein, the data received consists of first data blocks of the first data type and second data blocks of the second data type wherein one or more of the second data blocks is associated with the detection or correction of errors in a corresponding one of the first data blocks.

13. A method of receiving a digital data transmission according to claim 12 wherein, a given first data block is received substantially synchronously with the said second data block to which it corresponds.

14. A method of receiving a digital data transmission according to claim 12 wherein, the received data includes first and second data blocks, each block having associated alignment data, wherein the alignment data are employed in identifying which of the received first and second data blocks are corresponding blocks.

15. A method of receiving a digital data transmission according to claim 9 wherein, the data received consists of first data blocks of the first data type and second data blocks of the second data type wherein each one of the second data blocks is associated with the detection or correction of errors in a corresponding one of the first data blocks.

16. Apparatus for transmitting via an optical transmission line, digital data which includes data of a first type and data of a second type, the data of the second type being associated with control of errors in corresponding data of the first type at least, the apparatus including:
a data encoder including;

input means for receiving data of the first type, and

encoding means for deriving data of said second data type from said first data type, and output means for outputting said first and second data types via separate data channels; and,

an optical transmitting means for transmitting data of said first type and corresponding data of said second type via different wavelength division multiplexed optical transmission channels.

17. Apparatus according to claim 16 wherein; the data encoder is operable to output data of said first type and corresponding data of said second type substantially synchronously.

18. Apparatus according to any of claims 16 and 17 wherein; the data encoder is operable to output each of said first data type and said corresponding second data type in association with alignment data with which data of said first type and corresponding data of said second type may be identified as corresponding to each other.

19. Apparatus according to any of claims 16 to 18 wherein; said second data type is derived by said data encoder via forward error correction (FEC) coding of data of said first type.

20. Apparatus according to any of claims 16 to 19 wherein; said data encoder is operable to segment data of said first type into first data blocks and to segment corresponding data of said second type into second data blocks such that a given one of the second data blocks contains data which is associated with the control of errors in a corresponding given one of the first data blocks.

21. Apparatus according to claim 20 wherein; said encoder is operable to output corresponding first data blocks and second data blocks substantially synchronously.

22. Apparatus according to claim 20 wherein; said encoder is operable to output corresponding first data blocks and second data blocks in association with alignment data with which said first and second data blocks may be identified as corresponding to each other.

23. Apparatus according to any of claims 20, 21 or 22 wherein; said encoding means is operable to derive each one of the second data blocks from a corresponding one of the first data blocks by forward error correction coding of said one of the first data blocks.

24. Apparatus for receiving via an optical transmission line, digital data which includes data of a first type and data of a second type, data of the second type being data associated with control of errors in corresponding data of the first type at least, the apparatus including:

an optical receiver including receiving means for receiving optical data signals of the first data type and optical data signals of the second data type via different wavelength division multiplexed optical transmission channels;

a data decoder including input means for receiving data of said first type and data of said second type from said receiving means, wherein;

the data decoder includes means with which received data of the first type and corresponding data of the second type are identified as corresponding to each other.

25. Apparatus according to claim 24, wherein the data decoder

further includes means for using received data of the second type in detecting or correcting errors in the received data.

26. Apparatus according to any of claims 24 and 25 wherein, said data decoder is operable to receive data of said first data type substantially synchronously with the data of said second data type to which it corresponds.

27. Apparatus according to any of claims 24 to 26 wherein, the received data of both the first data type and the second data type includes alignment data with which received data of said first data type and received data of said second data type may be identified as corresponding to each other and said data decoder is operable to identify data of the first data type and data of the second data type as corresponding to each other using said alignment data.

28. Apparatus according to any of claims 24 to 27 wherein, the data decoder is operable to receive data consisting of first data blocks of the first data type and second data blocks of the second data type wherein one or more of the second data blocks is associated with the detection or correction of errors in a corresponding one of the first data blocks.

29. Apparatus according to claim 28 wherein, said data decoder is operable to receive a given first data block substantially synchronously with the said second data block to which it corresponds.

30. Apparatus according to claim 28 wherein, the received data includes first and second data blocks, each block having associated alignment data, wherein the data decoder is

operable to employ said alignment data in identifying which of the received first and second data blocks are corresponding blocks.

31. Apparatus according to any of claims 24 to 30 wherein, the data received consists of first data blocks of the first data type and second data blocks of the second data type wherein each one of the second data blocks is associated with the detection or correction of errors in a corresponding one of the first data blocks, and said data decoder is operable to employ a given one of said second data blocks to detect or correct errors in the first data block to which said given one second data block corresponds.

32. Apparatus for receiving via an optical transmission line, digital data substantially as described in any one embodiment hereinbefore with reference to the accompanying drawings.

33. Apparatus for transmitting via an optical transmission line, digital data substantially as described in any one embodiment hereinbefore with reference to the accompanying drawings.

34. A method of transmitting digital data via an optical transmission line substantially as described in any one embodiment hereinbefore with reference to the accompanying drawings.

35. A method of receiving digital data via an optical transmission line substantially as described in any one embodiment hereinbefore with reference to the accompanying drawings.

3. Detailed Description of Invention

The present invention relates to a method and apparatus for the transmission of digital error control data, and in particular, for the transmission of such data via an optical transmission line using wavelength division multiplexing.

The waveform of a digital data signal transmitted along an optical transmission line typically suffers signal degradation as the waveform propagates. Optical imperfections or irregularities in the material of the transmission line often result in random fluctuations in a signal waveform (e.g. intensity fluctuations caused by light scattering or absorption) thereby inducing random noise in the signal. Additionally, the optical properties of the transmission line material may induce a more systematic signal degradation through, for example, dispersion or self phase modulation which may each cause an optical waveform to progressively change shape during transit which is a further source of noise in the signal.

In the optical transmission of digital data, such signal noise often leads to 'bit errors' whereby a data bit originally transmitted as a 'one' bit is received as a 'zero' bit, or vice versa. The rate at which such errors occur in a received signal (the bit error rate, BER) depends sensitively upon the signal-to-noise ratio (SNR) at the receiver input. One method of reducing the BER of a signal is to increase the power of the signal transmitter in an attempt to increase the SNR at the receiver. This method, of course, requires an increase in transmitter power, which may be undesirable or even unachievable.

An alternative technique to simply increasing the SNR of a signal to reduce bit errors is that of 'channel coding' which aims to overcome existing bit errors. For example, such a coding technique is that of 'block-coding' whereby, prior to transmission of a digital signal, the data stream is partitioned into blocks. Additional data bits, known as 'check bits', are then added to each data block. These check bits convey information relating to the properties of the data block with which they are associated (e.g. relating to the number of binary '1' bits in the data block). The receiver of these data blocks must subsequently analyse/decode the check bits of each block in order to detect, or to correct, one or more bit errors in a given received block. Where the block-coding employed permits error detection only the receiver will be unable to locate (and therefore correct) bit errors in a data block. In such a situation the receiver may then, for example, submit a request to the transmitter for re-transmission of the data block in question should the data be corrupted and unacceptable. An example of this is the technique of Automatic Repeat Request (ARQ) known in the art.

However, such a re-transmission would interrupt the continuous flow of data and increase traffic on the transmission line. This drawback has been overcome in the art by, for example, employing error correction block-coding whereby sufficient check bits are introduced into a data block prior to transmission to facilitate correction of bit errors at the receiver. This type of block-coding is an example of a Forward Error Correction (FEC) coding. The performance of an optical transmission line is greatly improved by the use of FEC in particular. It improves the bit-error-rate thereby enabling transmission line amplifier spacing to be increased without recourse to increasing transmitter power (and SNR).

Numerous block-coding algorithms are known in the art, having varying degrees of complexity. However, the general principle by which they typically operate is that of redundancy. Consider a stream of digital data to be transmitted. This data stream contains what shall be referred to as information data. In order to block-encode this data it must first be partitioned into blocks and each such block be given a number of check bits. Figure 1 illustrates an example of this. Here an encoded data block (a 'codeword') comprises n bits in total of which only k bits are information data and the remaining $(n-k)$ bits are check bits. The $(n-k)$ check bits are redundant to the extent that they do not convey any of the information associated with the original (i.e. un-coded) data block. They are used only in bit-error processing of the k data bits to which they are added. Such block codes are identified by the notation " (n,k) ".

As an illustrative example of bit-error correction consider the following example of a $(7,4)$ block code. An information data bit-stream is partitioned into blocks of $k=4$ data bits $[D1, D2, D3, D4]$ to which are appended $(n-k)=3$ check bits $[C1, C2, C3]$ thus producing a codeword $[D1, D2, D3, D4, C1, C2, C3]$ of length $n=7$. The check bits are derived from the information data bits according to the following relations;

$$\begin{aligned} C1 &= D1 + D2 + D3 \\ C2 &= D1 + D2 + D4 \\ C3 &= D1 + D3 + D4 \end{aligned} \tag{1}$$

wherein the addition sign $(+)$ refers to modulo-2 addition (exclusive-OR). Thus, a codeword comprising these seven bits may be subsequently transmitted either as one codeword block for example, or via the method of interleaving or any other

suitable method known in the art. Upon reception of this codeword the relationship between the data-bits D_i ($i=1, 2, 3$) and the check-bits C_i ($i=1, 2, 3$), as defined by equations (1), may be employed by a decoder to check for and locate a single error in any of the seven bits as follows.

Noting the relation, in modulo-2 addition;

$$C_i + C_i = 0 ; i = 1, 2, 3 \quad (2)$$

one can write;

$$\begin{aligned} C_1 + D_1 + D_2 + D_3 &= 0 \\ C_2 + D_1 + D_2 + D_4 &= 0 \\ C_3 + D_1 + D_3 + D_4 &= 0 \end{aligned} \quad (3)$$

By calculating the left hand side of the three equations (3), a decoder is able to detect and locate (and therefore correct) a single error in any of the seven codeword bits, or to detect (but not locate and correct) two bit errors. That is to say, should a single bit error exist in the received codeword (e.g. a bit has changes from 'one' to 'zero', or vice versa) then the right hand side of one or more of the three equations (3) will be non-zero when determined by the decoder. A non-zero result can only occur if a bit error is present in the received codeword.

The degree of error correction possible increases with the number of redundant bits transmitted in a given codeword. However, increasing redundancy for a fixed bit transmission rate necessarily means a reduction in the rate of data (information) transmission, since only a portion of a codeword

contains information data. Alternatively, in order to maintain a constant information data transmission rate it would typically be necessary to increase the overall bit transmission rate in order to accommodate the transmission of check-bits, thus requiring an increase in required bandwidth capacity of transmission channels.

For example, when employing an FEC block code such as the concatenated Reed-Solomon (RS) (225,239)+(255,223) codes, the bit rate typically has to be increased by 23% in order to maintain a constant information data transmission rate. The gain resulting from the use of FEC codes is therefore partially offset by penalties arising from an increase in the bit rate. Such penalties include the increase of bandwidth, jitter and fibre non-linearities. Additionally, component frequency ratings are more stringent. Penalties such as these arise through, for example, having to reduce the bit period when transmitting data (information data plus check bits) at an increased bit rate. A consequence of such a reduction is a corresponding increase in the amplitude of the bit signals themselves. Increasing signal amplitude pushes the signal further towards the non-linear optical region thereby increasing the undesirable non-linear effects of e.g. cross-phase modulation (XPM), self-phase modulation (SPM), inter-channel interference etc.

It is an aim of the present invention to overcome at least some of the deficiencies in the prior art.

According to a first aspect of the present invention, there is provided a method of transmitting, via an optical transmission line, digital data which includes data of a first type and data of a second type, the second type being data associated

with control of errors in corresponding data of at least the first type, wherein;

the digital data is transmitted using a plurality of wavelength division multiplexed optical transmission channels such that data of the first type is transmitted via a channel different to that via which data of the second type is transmitted.

In referring to "wavelength division multiplexed channels", it is to be understood that reference is made to the well known technique of optical data transmission using "wavelength division multiplexing" (WDM). WDM utilises the large bandwidth within which it is possible to transmit data along an optical fibre transmission line by multiplexing a number of optical signals into a single fibre. Each optical signal is carried by (i.e. modulates) a different narrow laser wavelength band known as a "channel". These channels are separated ("spaced") in wavelength by, typically, several nanometres but have individual band-widths much smaller than this. In "Dense WDM" (DWDM) and in "High Density WDM" (HDWDM) systems channel spacings are lower than in ordinary WDM systems. It is to be understood that the present invention is applicable to any such WDM system or technique (i.e. WDM, DWDM, HDWDM and the like).

Thus, it will be understood that according to the first of its aspects, the present invention provides a method of optical data transmission whereby digital information data and its associated error control data may be transmitted via an optical transmission line without requiring an increase in the transmission bit rate of the information data. It will be clear that this may be achieved, according to the present invention, by obviating the need to transmit information data

and its associated error control data together via the same WDM transmission channel. That is to say, a subset of one or more WDM transmission channels is used in transmitting data of the first type, but not simultaneously used in transmitting data of the second type. The data of the second type is transmitted via a different subset of one or more other WDM transmission channels.

In this way, the present invention aims to mitigate the aforementioned penalties associated with increasing the bit rate on an optical transmission channel in order to accommodate redundant bits associated with bit error control. In particular, by transmitting channel-encoded data employing wavelength division multiplexing (WDM) the present invention provides a method whereby one subset of the WDM channels of an optical transmission line is employed for the transmission of data including information data ('information channels') but excluding error data, and another separate subset is employed for the transmission of the error control data ('error channels') associated with aforementioned information data (e.g. check bits, bytes or symbols in the case of e.g. RS codes).

The spectral efficiency of the transmission scheme is typically not affected according to the present invention since the WDM channel spacing can be made proportionally smaller to accommodate additional WDM channels dedicated to the transmission of error-control data. This is possible by virtue of not having to increase bit rates in the channels. For example, a 64 channel WDM transmission system could be modified to comprise 80 WDM channels (more closely spaced) without increasing the overall transmission bandwidth when incorporating a 25% overhead (i.e. coding rate is 0.8).

Preferably, data of said first type is transmitted substantially synchronously with data of said second type to which it corresponds. More preferably, first and second type data is transmitted in association with alignment data with which data of said first data type and data of said second type may be identified as corresponding to each other.

Preferably, the said second type of data is derived via forward error correction (FEC) coding the said first type of data. It is to be understood that such codes may be employed for error detection alone as well as, or instead of, error correction according to the present invention. Preferably, error correction coding is employed. Furthermore, as is known in the art of FEC, data of the second type may be used in the detection or correction of bit errors within the entire codeword of which it forms a part (i.e. data of the second type may be employed in controlling errors within itself).

Preferably the data of the first type is segmented into first data blocks and data of the second type is segmented into second data blocks such that a given one of the second data blocks contains data which is associated with the control of errors in a corresponding given one of the first data blocks. Thus, it is preferable that block-coding is employed in the present invention. Corresponding first data blocks and second data blocks may be transmitted substantially synchronously.

In addition, it is preferable that corresponding first data blocks and second data blocks are transmitted in association with alignment data with which said first and second data blocks may be identified as corresponding to each other.

Preferably, each one of the second data blocks is derived from a corresponding one of the first data blocks by forward error correction coding of said one of the first data blocks.

Thus, it will be understood that each block of error control data may be derived from a corresponding block of information data such that the latter contains data relating to the control of errors in the former (or in both the former and the latter) as is known in the art of FEC coding.

Furthermore, a second data block (e.g. of error bits or bytes), once derived, need not be subsequently added to the corresponding first data block prior to transmission. That is to say, preferably, a complete 'codeword' data item need not be constructed prior to transmission since whole codewords need not be transmitted according to the present invention, as is conventionally the case. Of course, such conventional codeword production could be employed, and the constituent error-control and information data blocks of the codeword be subsequently separated prior to transmission. Data blocks (of both types) may be derived via a known block-coding algorithm, such as a Reed-Solomon code (concatenated or otherwise).

Preferably, each said first data block is transmitted substantially synchronously with the said second data block to which it corresponds. For example, a given second data block may be transmitted substantially within the time period required to transmit the given first data block to which it corresponds.

Preferably, each data block is transmitted in association with alignment data with which a given said first data block and a given said second data block may be identified as

corresponding to each other. That is to say, by transmitting alignment data together with both the information data blocks and the error control data blocks it becomes possible to identify which error control data blocks correspond to which information blocks once those blocks of the optical data signal have been received at a receiver. This obviates the need for synchronization between WDM error-channels and their corresponding WDM information-channels, the advantage of which shall be discussed below.

According to a second aspect of the present invention, there is provided a method of receiving a digital data transmission transmitted according to the first aspect of the present invention via an optical transmission line, wherein the received data of the second type is used to detect and/or correct errors in the received data. Thus, once received, the data blocks (of all types) may be corrected according to known FEC techniques.

Preferably, in accordance with the second aspect of the invention, data of said first data type is received substantially synchronously with the data of said second data type to which it corresponds, and, more preferably, the received data of both the first data type and the second data type includes alignment data, with which received data of said first data type and received data of said second data type may be identified as corresponding to each other.

Preferably, the data received according to the second aspect of the present invention consists of first data blocks of the first data type and second data blocks of the second data type wherein one or more of the second data blocks is associated with the detection or correction of errors in a corresponding

one of the first data blocks. Preferably each one of the second data blocks is associated with the correction of errors in a corresponding one of the first data blocks. Preferably, each first data block is received substantially synchronously with the said second data block to which it corresponds.

Thus, decoding/error-correction can proceed by pairing information data blocks and error control data blocks that are received in synchrony. For example, a given error-control block that is received (in an error channel) within the time period required to fully receive an information data block (in an information channel) may be paired with the latter for subsequent error correction decoding.

Preferably, the received data consists of first and second data blocks, each block having associated alignment data, wherein the alignment data are employed in identifying which of the received first and second data blocks are corresponding blocks. Thus, alignment data allows the receiver to pair together received information data blocks and their corresponding error-control data blocks, for subsequent error correction decoding, without recourse to synchronization.

According to a third aspect of the present invention there is provided apparatus for transmitting via an optical transmission line, digital data which includes data of a first type and data of a second type, the data of the second type being associated with control of errors in corresponding data of the first type at least, the apparatus including:

a data encoder including;

input means for receiving data of the first type, and
encoding means for deriving data of said second data type from said first data type, and output means for

outputting said first and second data types via separate data channels; and,
an optical transmitting means for transmitting data of said first type and corresponding data of said second type via different wavelength division multiplexed optical transmission channels.

Preferably, the data encoder according to the third aspect of the invention is operable to output data of said first type and corresponding data of the second type substantially synchronously. More preferably, the data encoder is operable to output each of the first data type and the corresponding second data type in association with alignment data with which data of the first type and corresponding data of the second type may be identified as corresponding to each other.

Preferably, the second data type is derived by the data encoder via forward error correction (FEC) coding of data of the first type.

The data encoder is preferably operable to segment data of the first type into first data blocks and to segment corresponding data of the second type into second data blocks such that a given one of the second data blocks contains data which is associated with the control of errors in a corresponding given one of the first data blocks. The encoder is preferably operable to output corresponding first data blocks and second data blocks substantially synchronously.

The encoder may also be operable to output corresponding first data blocks and second data blocks in association with alignment data with which said first and second data blocks may be identified as corresponding to each other. Preferably,

the encoding means is operable to derive each one of the second data blocks from a corresponding one of the first data blocks by forward error correction coding of said one of the first data blocks.

According to a fourth aspect of the present invention, there is provided apparatus for receiving via an optical transmission line, digital data which includes data of a first type and data of a second type, data of the second type being data associated with control of errors in corresponding data of the first type at least, the apparatus including:

- an optical receiver including receiving means for receiving optical data signals of the first data type and optical data signals of the second data type via different wavelength division multiplexed optical transmission channels;

- a data decoder including input means for receiving data of said first type and data of said second type from said receiving means, wherein;

- the data decoder includes means with which received data of the first type and corresponding data of the second type are identified as corresponding to each other.

Preferably, the data decoder according to the fourth aspect of the present invention further includes means for using received data of the second type in detecting or correcting errors in the received data. Furthermore, the data decoder is preferably operable to receive data of said first data type substantially synchronously with the data of said second data type to which it corresponds.

Yet more preferably, the received data of both the first data type and the second data type includes alignment data with which received data of said first data type and received data

of said second data type may be identified as corresponding to each other and said data decoder is operable to identify data of the first data type and data of the second data type as corresponding to each other using said alignment data.

The data decoder is preferably operable to receive data consisting of first data blocks of the first data type and second data blocks of the second data type wherein one or more of the second data blocks is associated with the detection or correction of errors in a corresponding one of the first data blocks. Preferably, the data decoder is operable to receive a given first data block substantially synchronously with the said second data block to which it corresponds.

Preferably, the received data includes first and second data blocks, each block having associated alignment data, wherein the data decoder is operable to employ said alignment data in identifying which of the received first and second data blocks are corresponding blocks.

More preferably, the data received consists of first data blocks of the first data type and second data blocks of the second data type wherein each one of the second data blocks is associated with the detection or correction of errors in a corresponding one of the first data blocks, and said data decoder is operable to employ a given one of said second data blocks to detect or correct errors in the first data block to which said given one second data block corresponds.

There now follow non-limiting embodiments of the present invention, discussed with reference to the following drawings.

Referring to figure 2, there is illustrated an optical fibre communications system employing wavelength division multiplexing according to the present invention. The system comprises a data transmitter 5 having a data input terminal 8 via which information data may be input for subsequent FEC encoding and output via output terminal 9. Fibre-optic transmission line 7 is connected, at one end, to data output terminal 9 and, at the other end, to a data input terminal 10 of data receiver 6. This receiver has a data output terminal 11 via which received data may be output subsequent to decoding.

Though not illustrated in figure 2, the optical transmission line 7 may further include amplifiers (such as Erbium-doped optical amplifiers) and/or repeaters.

The input 8 of transmitter 5 is connected to an input of a data encoder 12 which, in turn, has five channel output terminals (denoted C1, ...C5) each one of which is further connected to an input terminal of a respective one optical channel transmitter 13 (denoted Tx). The optical channel transmitters 13 are each connected, at their output (denoted $\lambda_1, \dots, \lambda_5$), to respective inputs of a wavelength division multiplexer 14 the output of which is then connected to

optical fibre 7 at the transmitter output 9.

Receiver 6 comprises de-multiplexer 15 the input of which is connected to optical fibre 7 at receiver input 10. De-multiplexer 15 possesses five channel output terminals (denoted $\lambda_1, \dots, \lambda_5$) each one of which is connected to an input terminal of a respective optical channel receiver 16 (denoted Rx). Output terminals of each Rx 16 are connected to respective channel inputs (denoted C1, ...C5) of decoder 17. The output terminal of this decoder is connected to the output terminal of receiver 6 at 11.

Thus, it will be understood that according to this embodiment of the present invention, optical channel transmitters 13, multiplexer 14, fibre 7, de-multiplexer 15 and optical channel receivers 16 are arranged so as to form a wavelength division multiplexing (WDM) communications system 18 of a known architecture. It is to be understood that alternative known WDM architectures and methods may be employed in the system 18 without departing from the scope of the present invention.

In use, information data for transmission is input into transmitter 5, and thus encoder 12, via input terminal 8. Upon receipt of such data, encoder 12 preferably proceeds by encoding the data according to, for example, an FEC block-coding algorithm such as a Reed-Solomon (RS) type code. Accordingly, the received information data is partitioned into blocks of data of a given length, and for each such information data block a corresponding error-control data block is produced. Subsequent to block encoding, information data blocks and their corresponding error-control data blocks are output, preferably in synchrony, from encoder 12 via separate ones of the five channel outputs (C1, ..., C5) of the

encoder. For example, all error-control data blocks may be output via channel output C1, while all corresponding information data blocks are output via channel outputs C2 to C5.

Figure 3 illustrates a simple schematic diagram of preferably synchronous data block output. Information data blocks 31, 32, 33 and 34, each k bits long, are output from encoder 12 on respective output channels C2, C3, C4 and C5 over a time period T . Within the same duration T , the four corresponding error-control data blocks E1, E2, E3 and E4, each $(n-k)$ bits long are multiplexed (output), in a predetermined sequence, on error channel C1. The error blocks E1 to E4 could be multiplexed in a sequence other than that shown in figure 3.

In this example, the coding rate R ($R=k/n$) is equal to 0.8, thus permitting the four error blocks E1 to E4 to fit within a sequence 30 of duration equal to that of any one corresponding information data block. Of course, higher coding rates are also possible.

Figure 3 illustrates a simple example only, and it is to be noted that other known techniques of channel synchronisation may be used without departing from the scope of the present invention as would be readily apparent to the skilled person.

Indeed, synchronisation could be achieved prior to transmission, in accordance with any aspect of the present invention, by components other than the encoder as would be readily apparent to the skilled person.

The block data output on each given channel is subsequently input to a respective one optical transmitter 13 of the WDM

system 18. Here the received block data signal is converted from an electrical signal into a corresponding optical signal. This conversion may, of course, be achieved by any suitable known method of electro/optical conversion readily known in the art (e.g. by direct modulation of a solid-state laser).

Error control data blocks are then transmitted via e.g. optical transmission channel λ_1 , preferably substantially in synchrony with the corresponding information data blocks on optical transmission channels λ_2 to λ_5 . In accordance with known WDM transmission techniques, the five optical channels are multiplexed by multiplexer 14 and transmitted along fibre 7 to de-multiplexer 15 of receiver 6 whereupon the five channels are separated and input to respective optical receivers 16. Here the received block data signal is converted from optical form into a corresponding electrical signal. This conversion may, of course, be achieved by any suitable known method of electro/optical conversion readily known in the art (e.g. by employing an avalanche photo-diode). These electrical signals are input to decoder 17 via channel inputs C1 to C5, where C1 (as denoted earlier) carries error control blocks and C2 to C5 carry information data blocks and no error control blocks.

Provided synchrony between the information data blocks and their corresponding error-control data blocks is substantially still present when those blocks are input to decoder 17, then error correction may proceed, according to the present embodiment of the invention, as follows.

Consider the data blocks 30 to 34 illustrated in figure 3. Data blocks such as these, input to decoder 17 on input channels C1 to C5 respectively, are preferably received in

synchrony at the decoder. Each error block in the four-block sequence 30 in error channel C1 may be paired with its corresponding information data block simply by reading the sequence 30 according to the predetermined sequence order by which it was constructed at encoder 12. Once block pairing has occurred, decoding may proceed in accordance with known FEC techniques. The error corrected information data blocks may then be assembled into a data stream representing an error corrected received version of the original information data input the transmitter 5.

However, since each optical transmission channel may cause optical signals transmitted thereupon to suffer differing amounts of delay due to e.g. third-order dispersion, synchronization between the arrival times of the information data blocks and error-control data blocks may be difficult or impossible to maintain at the receiver/decoder stage as error-control and information data blocks become misaligned.

In another embodiment of the present invention, this difficulty may be overcome according to any aspect of the present invention, by transmitting alignment data (e.g. words) in association with each data block in each of the error channels and the information channels. The alignment words being such as to identify one information data block and one error block as being associated with each other (i.e. forming an info./error block pair) the need to receive such blocks in substantial synchrony may be obviated.

Preferably, these alignment words may be chosen so as to be unique to each information/error block pair and thereby permit both members of a given pair to be identified as such by the decoder 17 when received in or out of synchrony. That is to

say, for example, each one information data block may be assigned an alignment word that is shared by only the associated error block for that information block, thereby enabling the former to be uniquely identified (by the decoder) as being associated only with the latter.

It is to be note that the alignment words need not be unique to one info./error block pair. That is, consecutive blocks (whose length may be vary depending upon e.g. the encoding scheme employed) in a given transmission channel may possess the same alignment word. These words may be used by the decoder to align a given error block with its associated information block provided that the maximum misalignment between those two blocks is less than the block length of the longest block of the pair (e.g. the information block). Provided that this condition is satisfied, upon receiving an information data block, the decoder will subsequently start receiving the associated misaligned error block within the time period required to complete receipt of the corresponding information data block (or vice versa). Any such error block received within this time period will then be deemed to be paired with that information block.

Whether the alignment words employed are unique to each block pair or not, it is preferable that alignment words used in error (or info.) channels further include a 'channel-type' identifier which identifies the block (to which the word is attached) as emanating from an error (or info.) channel and, therefore, as being an error (or info.) block. This enables the decoder 17 to identify received error blocks as being such and overcomes the possibility of the decoder mis-reading an error block as an information data block (or vice versa).

Figure 4 illustrates an example of this in which alignment data words are simply added to the front of data blocks prior to transmission. Data sequences 41 and 42 represent consecutive error-control data blocks (of size (n_2-k_2) and (n_1-k_1) respectively) in error channel C1. Alignment words A and B have been added to the front of these blocks respectively. The corresponding information data blocks 41' and 42' (of size k_2 and k_1 respectively) are in information channel C2 and also have corresponding alignment words A' and B' added thereto (Additional info. channels C3 etc. not shown). Alignment words A and B not only identify the error blocks 41 and 42 as corresponding to information blocks 41' and 42', but also identify blocks 41 and 42 as being error-control blocks (and, therefore, not info. blocks).

Thus, at the decoder 17 information block 41' can be identified, using alignment words A and A', as corresponding to error block 41 and, consequently, can be paired for subsequent decoding. Alignment word A also tells the decoder 17 that block 41 is to be read as an error block. Similarly, blocks 42' and 42 may be paired using alignment words B and B'.

Although the addition of alignment data in transmission channels will require an increase in the overall channel bit rates if a given bit rate of information data (per channel) is to be maintained, the increase (i.e. overhead) required is typically very low and much less than that required to accommodate error-control data in an information channel as is conventionally done.

Preferably, any misalignments in the data blocks received at the decoder 17 may be removed, to within a single bit period

if required, using a variable-length buffer store. For example, decoder 17 may store any one block of a data block pair in a buffer store until the corresponding other block of that pair is received. The block pair may then be decoded.

Indeed, once alignment words have been detected for a given info./error block pair, the bits contained within respective blocks may be loaded in parallel into appropriate registers within decoder 17 (e.g. RS registers or the like, as known in the art). Decoding may then commence when all bits of both the information and error data blocks have been loaded into the decoder registers. If loading of e.g. information bits is completed before the loading of the corresponding error bits (or vice versa) then subsequently received information bits (of another block) may be held in a buffer until the loading of said corresponding error bits is complete (or vice versa).

Furthermore, according to any aspect of the present invention, relative transmission-time delays between data blocks on information channels and on error channels may be minimised by choosing the error channel to the one that has the median (or thereabouts) transmission delay. That is to say, it is well known that each one WDM channel will possess a transmission delay differing from that of the other WDM channels (due to the wavelength differences between channels). By transmitting error blocks via the WDM channel (or channels) having a delay closest to the median delay (of all of the WDM channels used), the relative transmission delay (considered across all channels) between error channels and their associated information data channels may be minimised. Thus, in minimising relative channel delays in this way, one may consequently minimise the misalignment between error and information blocks received at decoder 17.

As a further embodiment of the present invention according to any of its aspects, a spare WDM optical transmission channel may be provided on the optical transmission line. Thus, should any one of the transmission channels fail, the spare channel may be subsequently employed. This applies to the error channels also. However, it is an advantage of the present invention that should a WDM channel fail and should that channel be an error channel, transmission of information data will not be interrupted since, preferably, error correction coding techniques employed according to the present invention do not modify the information data being transmitted.

Furthermore, by transmitting error control data via a separate one or more transmission channels, any persistent noise sources (e.g. error bursts) present in a given channel of the transmission line will be less likely to severely effect the performance of that channel. This arises because error bursts in, say, a given information channel are unlikely to be present in an error channel of a transmission line. Since typically both information data blocks and error control blocks are corrected by FEC codes, this typically results in the error correcting ability of the code being more robust (i.e. less likely of being breached) to error bursts in any one channel.

It is to be noted that the apparatus illustrated in figure 2 is intended to be merely an example of the possible architecture of an optical transmitter and receiver according to the present invention. For example, rather than having physically separate encoder/decoder output/input channels (e.g. separate output transmission lines), the encoder/decoder

may output/input error and information data on otherwise 'separate' output channels on one transmission line (e.g. via separate multiplexing channels or the like). In such a case subsequent signal de-multiplexing/multiplexing may be required before/after electro-optical conversion and WDM transmission/reception.

The embodiments described above are intended as examples only of the present invention according to any of its aspects. It is to be understood that variations and modifications may be made to these embodiments, such as would be known to the person skilled in the art, without departing from the scope of the invention.

4. Brief Description of Drawings

Figure 1 schematically illustrates an example of a codeword derived according to known block-coding techniques.

Figure 2 schematically illustrates an optical fibre communications system employing wavelength division multiplexing.

Figure 3 schematically illustrates separated corresponding information and error-control data blocks on respective WDM information- and error-channels, and their associated alignment data items.

Figure 4 illustrates an example of which alignment data words are simply added to the front of data blocks prior to transmission.

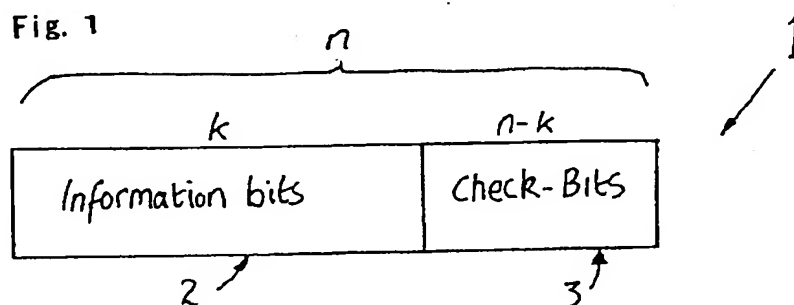


Figure 1

Fig. 2

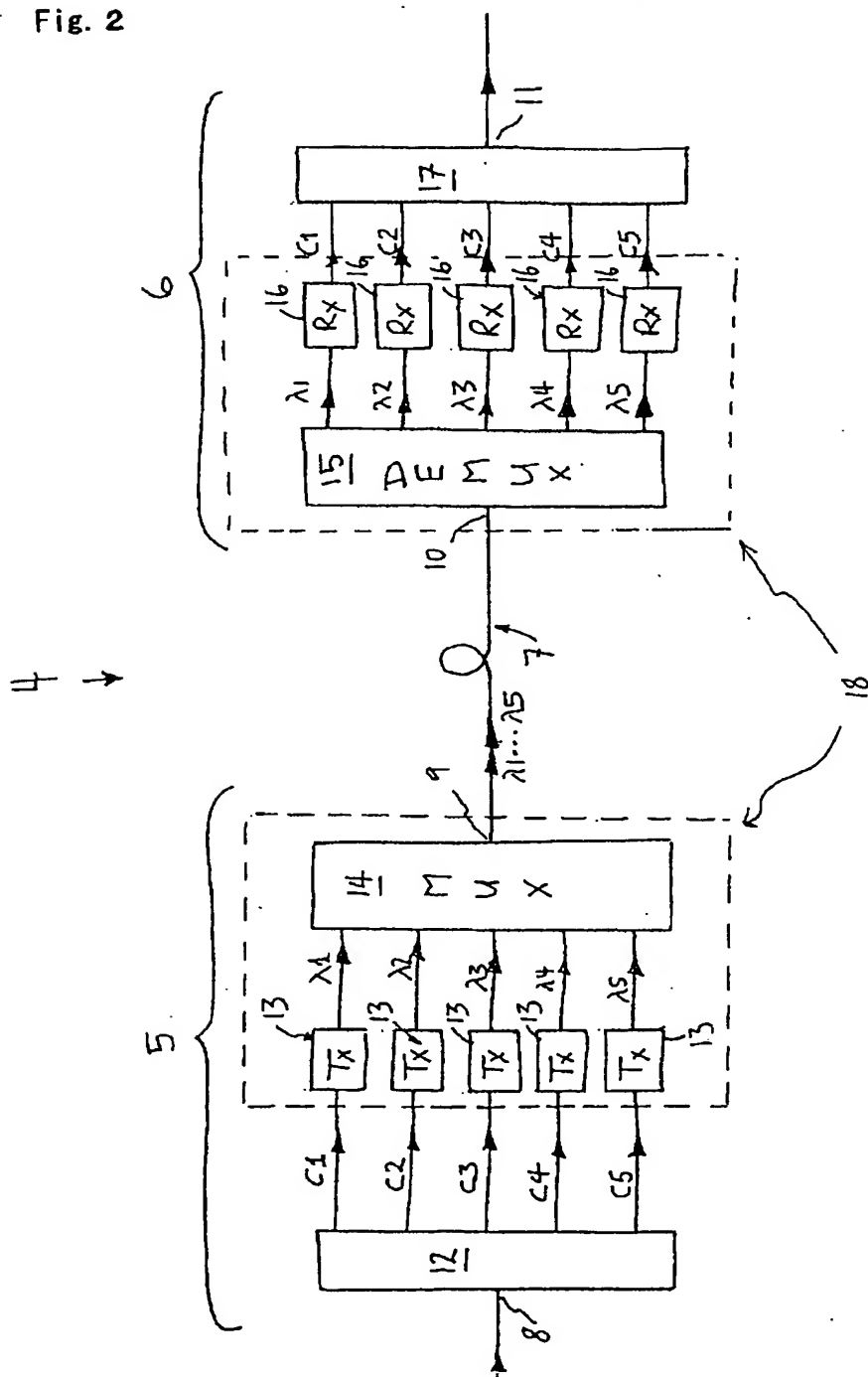
Figure 2

Fig. 3

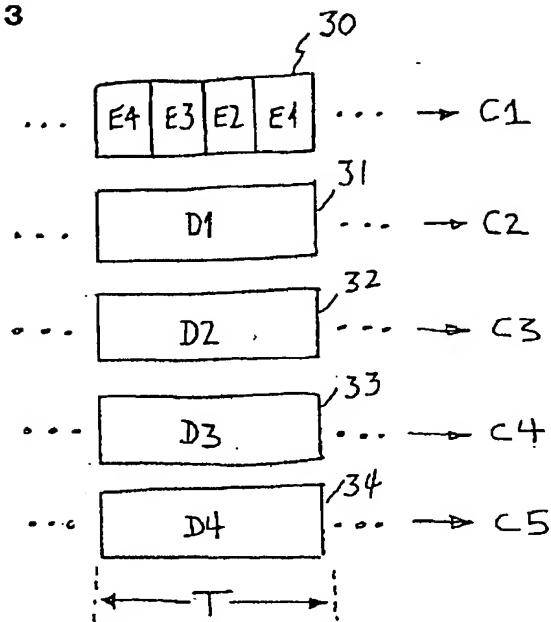
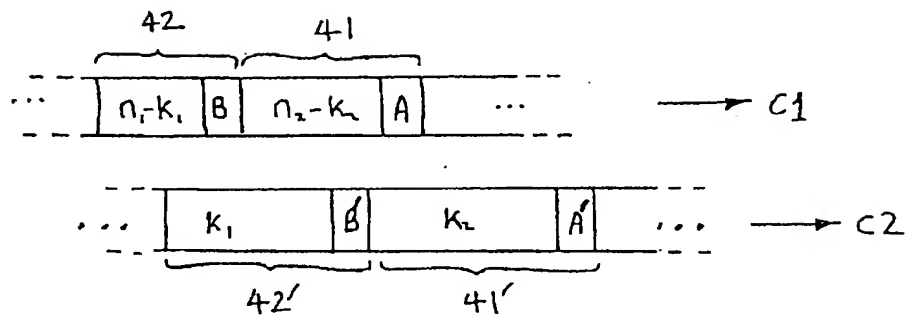
Figure 3

Fig. 4

Figure 4

1. Abstract

The present invention provides a method of optical data transmission whereby digital information data and its associated error control data may be transmitted via an optical transmission line without requiring an increase in the transmission bit rate of the information data. It will be clear that this may be achieved, according to the present invention, by obviating the need to transmit information data and its associated error control data together via the same WDM transmission channel. That is to say, a subset of one or more WDM transmission channels is used in transmitting data of the first type, but not simultaneously used in transmitting data of the second type. The data of the second type is transmitted via a different subset of one or more other WDM transmission channels.

In this way, the present invention aims to mitigate the aforementioned penalties associated with increasing the bit rate on an optical transmission channel in order to accommodate redundant bits associated with bit error control. In particular, by transmitting channel-encoded data employing wavelength division multiplexing (WDM) the present invention provides a method whereby one subset of the WDM channels of an optical transmission line is employed for the transmission of data including information data ('information channels') but excluding error data, and another separate subset is employed for the transmission of the error control data ('error channels') associated with aforementioned information data (e.g. check bits, bytes or symbols in the case of e.g. RS codes).

2. Representative Drawing

Fig. 2